

佐賀大農彙 (Bull. Fac. Agr., Saga Univ.) 98 : 1 ~ 6 (2013)

タマネギ－水稻栽培体系における田植え時排水の水質

原口 智和*・江頭 淳二**

(*水環境工学研究室, **佐賀県農業試験研究センター)

平成24年 8 月31日 受理

Quality of Drained Water during Rice Transplanting in Rice-Onion Cropping System

Tomokazu HARAGUCHI*, Junji EGASHIRA**

(*Laboratory of Water Environmental Engineering, **Saga Prefectural Agricultural Research Center)

Accepted August 31, 2012

Summary

Quality of drained water during rice transplanting in the rice-onion cropping system was examined in the area where rising of onion cultivation area might contribute to the increase of water quality loads. Concentration of inorganic nitrogen might decrease because of assimilation by phytoplankton or denitrification. At a spot near an outlet, diffusion of nitrite and ammonium nitrogen from anaerobic soil to standing water accelerated by faster current speed might lead to increase in their concentrations, and phosphate phosphorus might increase because of suspended solid raised by the fast flow. Concentration of phosphate phosphorus decreased because of sedimentation of suspended solid at a spot in which a flow was slow.

Key words: Puddled Water, Inorganic Nitrogen, Phosphate Phosphorus

緒 言

有明海北岸の佐賀県鹿島市から同鳥栖市に広がる佐賀平野は、面積が約700km²であり、古くより水田稲作が行われている。気候が温暖なため2毛作が可能で、平成22年における佐賀県の耕地利用率は131.6%と、全国(92.2%)や九州地域(102.8%)にくらべ高い¹⁾。佐賀平野に位置する自治体に限ると、耕地利用率は160~180%とさらに高くなる。

佐賀平野にはクリークと呼ばれる水路が張り巡らされているが、施肥量の増加や生活系負荷の増大により、農業地域からクリークに排出される水質負荷が増加している。そして、クリーク水の反復利用や水域の滞留性のため有機性汚濁や富栄養化が顕在化し、負荷の蓄積による水質悪化が問題となっている。2毛作が行なわれると、その肥培管理によっては、夏期耕作のみの場合に比べ、農地からの排出負荷量は多くなる可能性がある。農業が主産業であるこの地域においては、高度な生産性を維持しつつ、クリークの水質環境を保全することが重要である。

原田ら²⁾が佐賀平野全体のクリーク末端樋門で行った水質調査によると、佐賀平野西部の白石地区では、8月~10月の硝酸態窒素やリン酸態リン濃度が、それぞれ2~5 mg・L⁻¹、0.5~3.0 mg・L⁻¹と、他の地点に比べ高い。白石町は耕地面積が約6,000haあり、作付面積の広い

作物には、夏期の水稲（作付面積3,640ha）と大豆（同1,070）、冬期の麦類（同2,460ha）とタマネギ（同1,700ha）がある³⁾。大串ら⁴⁾は、白石地区における窒素負荷量増加の原因の一つにタマネギ栽培の拡大を挙げている。著者らが同地区のクリークにおいて夏期から冬期にかけて行なった水質調査では、全窒素濃度が $1 \sim 6 \text{ mg} \cdot \text{L}^{-1}$ 、全リン濃度が $0.5 \sim 1.4 \text{ mg} \cdot \text{L}^{-1}$ と、窒素のみならずリンについても負荷の蓄積がうかがわれた⁵⁾。

水稲栽培においては、代かきから田植えの期間に水田より排出される負荷量は全生育期間の大半を占めることが知られている⁶⁾。白石地区のタマネギ栽培では、収穫時における肥料成分の土壌残存量が多いため、それを考慮し、後作に水稲を栽培する場合は基肥をごく少量とする、または無施肥とするよう指導がなされている⁷⁾。このことに鑑みると、同地区のタマネギ後作の水稲栽培においても、この期間に排出される負荷が多いことが推測される。

代かき－田植え時の負荷排出の削減のため、不耕起水稲栽培の導入、および緩効性肥料や苗時施肥等の施肥法の改善などの対策が考えられるが、これらの技術は佐賀県では普及に至っていない。また、他の技術として、代かきから落水までの日数を長く取ることも考えられる。しかしながら、佐賀県の田植え盛期は6月下旬であり、梅雨の時期と重なるため、作業効率の面からその間隔は短くなるようである。

筆者らは、クリークへ流出する田面排水を廃材の炭化物を用いて直接浄化する方法を提案し、炭化物の浄化特性を調べ、木炭と松葉炭とでは硝酸態窒素に対する除去能に顕著な差があることを示した⁸⁾。炭化物の水中物質に対する吸着除去能は炭材や炭化温度によって変化する^{9), 10), 11), 12)}ので、水質浄化における適切な炭化物の選択のためには、浄化対象の水質の特徴を予め知っておくことが重要となる。本研究では、タマネギ後作に水稲を栽培する水田において、田植え時に強制落水される田面水の水質を測定し、その特徴を明らかにするとともに、その時間変化について考察した。

調 査 方 法

平成18年6月に佐賀県白石町新明地区の水田（115m×35m）において調査を行った。この水田は干拓地の中にあり、前作がタマネギで、基肥は施されていない。6月27日に入水、代かきを行ない、29日に強制落水の後田植えが行なわれた。調査中、降水はなかった。

田面水は小排水路に沿った短辺畦畔部に設けられた2つの落水口（セキ幅0.3m）から排出される（図1）。小排水路上流側を落水口1（地点D1）、下流側を落水口2（地点D2）とよぶ。午前7時50分より落水を開始し、地点D1からの排水が無くなったのは午前10時45分であった。水田長辺中央付近の畦畔から0.2m離れた地点P1において田面水深を、地点D1とD2で排出水量を測定した。また、地点P1の田面水および地点D1、D2から排出された田面水の水質を測定した。水温、電気伝導度（EC）、pH、酸化還元電位（ORP）は、ポータブル水質計を用いて現地で測定した。採取したサンプルについては、懸濁物質（SS）濃度、化学的酸素要求量（COD）、硝酸態窒素（ $\text{NO}_3\text{-N}$ ）濃度、亜硝酸態窒素（ $\text{NO}_2\text{-N}$ ）濃度、アンモニア態窒素（ $\text{NH}_4\text{-N}$ ）濃度、全窒素（T-N）濃度、リン酸態リン（ $\text{PO}_4\text{-P}$ ）濃度、全リン（T-P）濃度の分析を行った。

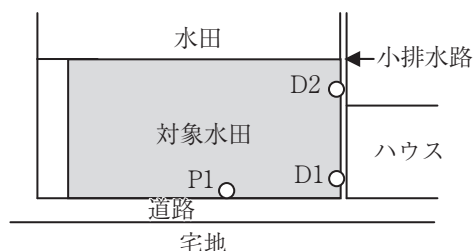


図1 調査対象水田の概略図

結果および考察

測定中の日射量は時間の経過とともに増加する傾向にあったが、9時30分以降は雲の影響により $0.5\text{kW}\cdot\text{m}^{-2}$ 程度で推移した(図2)。地点P1および地点D1、D2の水温は、落水開始時は気温とほぼ同じであったが、その後日射によって暖められ 7°C ほど上昇した(図3)。なお、調査対象水田に近いアメダス観測地点(白石)における風速(10分毎の瞬間値)は、7時30分～8時、および8時30分～9時20分が $1\text{m}\cdot\text{s}^{-1}$ で、それ以外は $2\text{m}\cdot\text{s}^{-1}$ であった。

落水開始直後の排出流量は地点D1で $7.6\text{L}\cdot\text{s}^{-1}$ 、地点2で $3.4\text{L}\cdot\text{s}^{-1}$ と、セキ高の差の影響がみられた(図4)。地点D2はセキ高が地点D1より高いため、午前9時30分過ぎに排水が無くなった。地点D1、D2からの排水流量の変化を時間の関数で表し、落水開始から終了まで積算した総排水量は、それぞれ 49m^3 、 11m^3 であった。なお、落水開始から終了までの地点P1における田面水深の変化量は約 17mm であった。

図5にECの時間変化を示す。地点による差がほとんどなく、全データの変動域は $41.0\sim 42.8\text{mS}\cdot\text{m}^{-1}$ と非常に小さい。このことより、圃場外や水田土からのイオン性物質の侵入はなかったと推察できる。図6にpHの時間変化を示す。8時10分から9時30分に約0.5上昇したが、この間の変化が日射量の変化に対応していること、ならびに圃場外や水田土からの異物の移動がないことから、このpHの時間変化の主要因は植物プランクトンの光合成に伴う二酸化炭素濃度の低下によるものと考えられる。また、地点D2のpHが地点D1より0.1ほど低かったが、これは、大気に接している水表面は下層に比べ二酸化炭素の濃度が高く、水深の小さい地点D2では水表面部分の寄与が他地点に比べ大きかったためと考えられる。

図7にSS濃度の変化を示す。地点P1ではほぼ一定($380\sim 470\text{mg}\cdot\text{L}^{-1}$)であったが、地

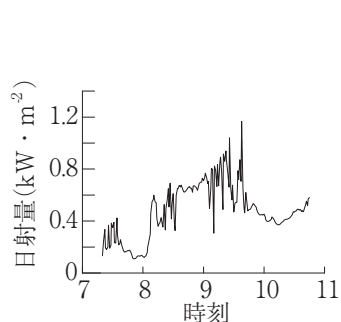


図2 日射量の変化

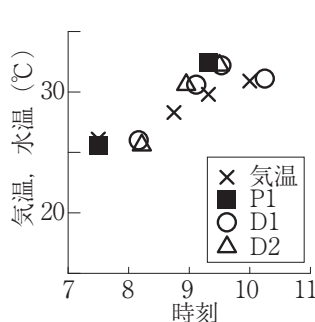


図3 気温と水温の変化

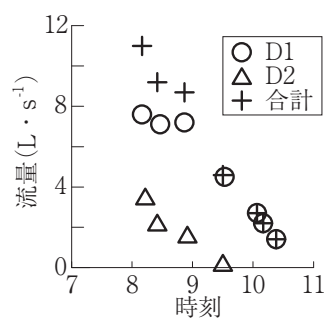


図4 田面排水流量の変化

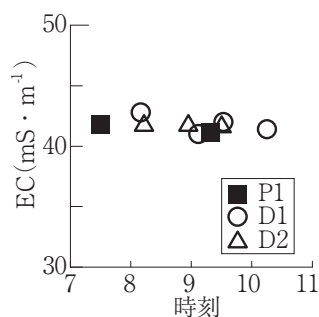


図5 電気伝導度の変化

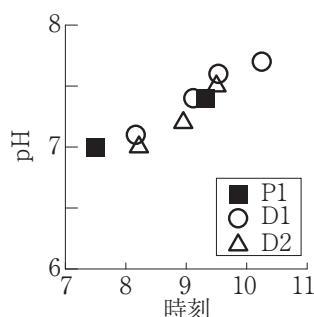


図6 pHの変化

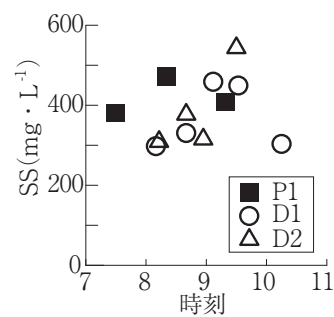


図7 懸濁物質濃度の変化

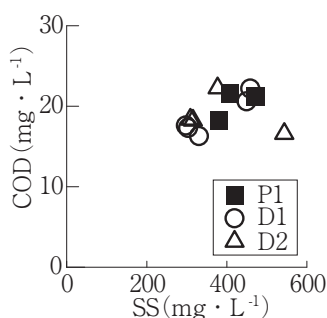


図8 懸濁物質濃度と化学的酸素要求量の関係

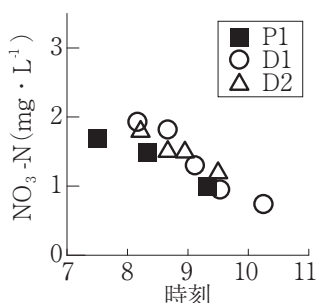


図9 硝酸態窒素濃度の変化

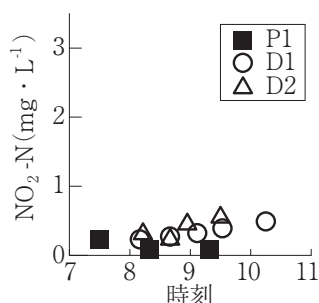


図10 亜硝酸態窒素濃度の変化

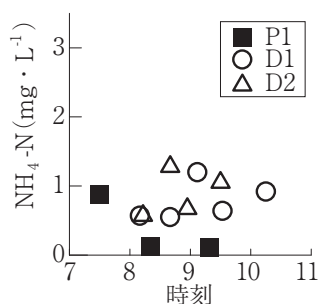


図11 アンモニア態窒素濃度の変化

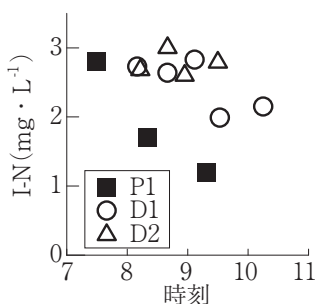


図12 無機態窒素濃度の変化

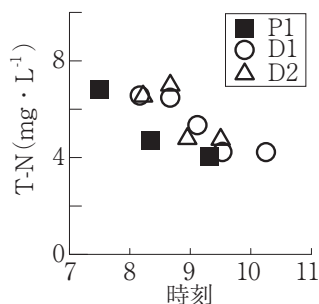


図13 全窒素濃度の変化

点 D1, D2 では排出される作物残渣の量（目視による観察）に応じて大きく変化した。また、SS 濃度と COD の相関は高い（図8）ことから、田面水中の浮遊物質の多くは作物残渣に由来する有機物と推察される。なお、図8に示した地点 D2 の一組のデータ（SS = 543 mg · L⁻¹, COD = 16.6 mg · L⁻¹）は地点 D2 からの排水終了直前のサンプルであり、SS に占める植物残渣の割合が小さかったため他と異なる傾向を示した。

無機態窒素に関しては、NO₃-N 濃度は全ての地点において時間の経過とともに低下した（図9）。流入や降水による希釈は起こっておらず、田面水の ORP は地点にかかわらず +200 ~ +300 mV と脱窒反応の起こりうる ORP の範囲¹³⁾にあることから、脱窒が NO₃-N 濃度の低下の一因であると考えられる。また、脱窒菌に加え、植物プランクトンを含む他の微生物も NO₃-N を吸収するが、これらの寄与の程度については明らかにできなかった。NO₂-N および NH₄-N については、地点 P1 では時間経過に伴って濃度が低下し、排水（地点 D1, D2）の濃度は上昇する傾向がみられた（図10, 11）。落水口付近では流速が比較的大きくなるため、還元状態の土壌から田面水中に拡散する NO₂-N および NH₄-N の濃度が上昇したものと推察される。図12に無機態窒素（I-N）濃度（NO₃-N, NO₂-N, NH₄-N 濃度の和）の変化を示す。地点 D1, D2 における I-N 濃度の減少が地点 P1 に比べ小さいことが分かる。これは、田面水中の I-N は微生物に吸収されて濃度が減少するが、落水口付近では土壌から田面水中に拡散する NO₂-N および NH₄-N の量が多いため、地点 D1, D2 では I-N 濃度の減少が抑えられたものと考えられる。図13に T-N 濃度の変化を示す。I-N 濃度とは異なり、全ての地点で時間経過に伴って濃度が低下した。これは、有機態窒素成分の濃度低下の影響が大きいことを表している。

図14および15に、サンプル原水および 1 μm フィルターで濾過処理した試料水の PO₄-P の濃

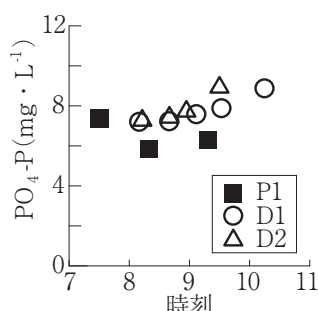


図14 原水のリン酸態リン濃度の変化

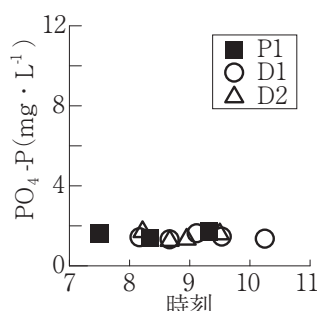


図15 溶存態リン酸態リン濃度の変化

度の変化を示す（以下、後者を溶存態 $\text{PO}_4\text{-P}$ と呼ぶ）。懸濁物質を含むサンプル原水については、地点 P1 では時間の経過とともに減少し、地点 D1、D2 では増加し続ける傾向が見られた。一方、溶存態 $\text{PO}_4\text{-P}$ の濃度は、地点に関わらずほぼ一定で推移した。このことから、流れが比較的緩やかな地点 P1 では懸濁物質の沈降によって濃度が低下し、落水口付近では早い流れによって懸濁物質が巻き上げられ、地点 D1、D2 の濃度が増加したものと推察される。また、溶存態 $\text{PO}_4\text{-P}$ の濃度が場所や経過時間によらず一定値を示したことから、無機態窒素とは異なり、短時間程度では微生物による吸収等の影響があらわれないと言える。

結 言

タマネギ後作水田における水質・水量の観測結果より、本調査水田における田植え前の強制落水による排出負荷の水質は、窒素に比べリンの排出量が多いこと、ならびに、負荷量は落水口付近の流速、すなわち落水量の影響を受けて増大することが明らかとなった。強制落水に伴う排出負荷を抑制するには、落水口の数を増やしたり、セキ高を細かく変えたりして落水口付近の流速を小さくすることが有効と考えられる。また、溶存態 $\text{PO}_4\text{-P}$ についてはその効果をほとんど見込めないことから、本調査地区においては、排出水を直接浄化するか、湛水された状態で田面水から取り除くことが必要と考えられる。

摘 要

タマネギ栽培の増加が水質負荷増の一因として考えられる地区において、タマネギ－水稻栽培体系の田植え時に排出される負荷の特徴を調査した。水田の流れの緩やかな地点では、無機態窒素濃度は植物プランクトン等の微生物による吸収のために、リン酸態リン濃度は懸濁物質の沈降のために時間の経過とともに減少した。落水口付近では流速が大きいため、亜硝酸態窒素及びアンモニア態窒素の還元状態の土壌から田面水中への拡散が促進され、それらの濃度は増加し、一方、リン酸態リンは懸濁物質の巻き上げにより濃度が増加すると推察された。

引 用 文 献

1. 農林水産省大臣官房統計部（2012）：平成22年耕地及び作付面積統計，農林統計協会。
2. 原田浩幸，山本浩一，井上勝利（2007）：佐賀地域クリーク末端における底泥直上水浄化と栄養塩溶出抑制に関する基礎的研究，佐賀大学有明海総合研究プロジェクト成果報告集，**3**，9-13。

3. 農林水産省 (2007) : 「市町村の姿」－佐賀県白石町. <http://www.tdb.maff.go.jp/machimura/map2/41/425/agriculture.html> (2007. 9. 21アクセス)
4. 大串和紀, 姫野靖彦, 袖山義人, 中野芳輔 (2006) : 白石平野クリーク水質変化要因の解析, 農土論集, **74** (4), 187-195.
5. 宮村美保, 原口智和, 加藤 治, 田中 明 (2008) : 松葉およびホテイアオイの炭化物を用いたクリーク水の浄化, 佐賀大農彙, **93**, 133-139.
6. 平山 力, 酒井 一 (1985) : 水田からの肥料成分の流出とその対策 第1報 水田からの肥料成分の流出, 茨城県農試研究報告, **25**, 133-146.
7. 佐賀県 (2006) : 平成18年度 施肥・病虫害防除・雑草防除の手引き<水稻・大豆・果樹・茶>, p.11.
8. 原口智和, 加藤 治, 田中 明 (2007) : 廃材炭化物利用によるクリーク流入負荷の削減に関する基礎的研究, 農土論集, **75** (3), 75-81.
9. 黒田重徳, 松田強志 (1997) : 流木炭化物の吸着特性, 用水と廃水, **39** (6), 22-26.
10. 宇都宮高栄, 坊 栄二, 松永浩美 (2003) : 天然素材を用いる河川水質浄化の研究 (I) 一木炭材の性能比較試験結果一, 福井県衛生環境研七年報, **2**, 107-110.
11. 宇都宮高栄, 坊 栄二, 松永浩美 (2004) : 天然素材を用いる河川水質浄化の研究 (II) 一スギ炭の焼成条件と性状・性能について一, 福井県衛生環境研七年報, **3**, 160-165.
12. 及川紀久雄, 川田邦明, 浅田隆志 (2005) : 環境を浄化する炭～その機能性と未来を探る～第5回 炭による環境ホルモンと農薬の除去, 資源環境対策, **41** (1), 149-152.
13. 武田育郎 (2001) : 水と水質環境の基礎知識, オーム社, p. 140.